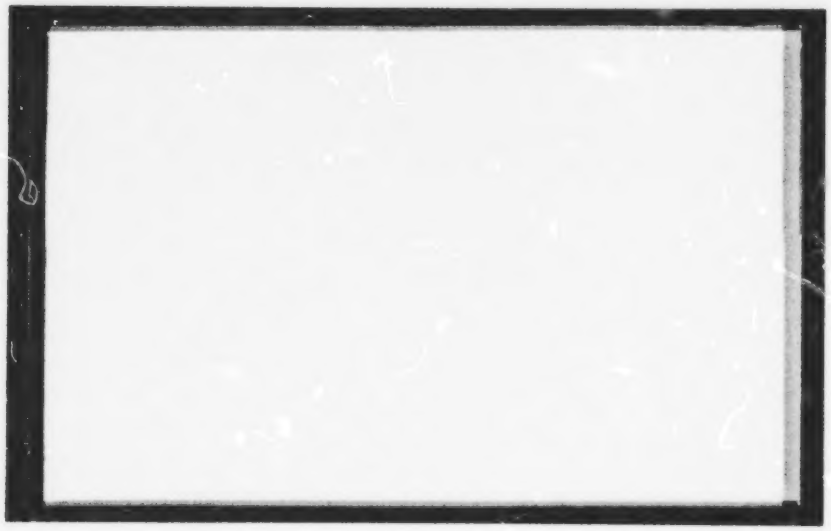
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL



CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

AFFECTATION DES CHAUFFEURS AVEC LE SYSTEME HASTUS-macro

par

Jean-Marc Rousseau, Daniel Dupuis
et Jean-Yves Blais

Présentation faite dans le cadre du congrès de l'ARTC Ottawa, septembre 1978

Université de Montréal

Publication # 113 - Centre de recherche sur les transports
Publication # 307 - Département d'informatique et de recherche opérationnelle

Novembre 1978

INTRODUCTION

Le ministère des Transports du Québec, (M.T.Q.), dans la poursuite de son objectif de développement du transport en commun, avait procédé, au printemps de 1977, à une étude des systèmes existants de mécanisation des horaires et des assignations, en collaboration avec la Commission de transport de la communauté urbaine de Québec (C.T.C.U.Q.). Après avoir dressé cet inventaire et à la suite des commentaires reçus d'utilisateurs actuels ou éventuels de tels systèmes, le système HASTUS-macro du Centre de recherche sur les transport de l Université de Montréal (C.R.T.) avait été retenu comme la première étape de la mécanisation des horaires et des assignations à la C.T.C.U.Q. Réalisé entre mai 1977 et février 1978, ce projet a doté la C.T.C.U.Q. d'un système unique pour sa grande flexibilité et ses possibilités de prévision.

Depuis, le M.T.Q. a accepté de s'impliquer dans les autres étapes de la mécanisation des horaires et des assignations à la C.T.C.U.Q. L'ensemble du projet pourrait devenir fonctionnel au début de 1979.

1 Le problème

On peut situer le problème en définissant sommairement les étapes de solutions généralement utilisées.

i) Les "pointages": en cours d'année, on prend différents relevés d'achalandage des autobus sur les différents parcours à différentes heures de la journée. Ces données constituent la base de la planification des horaires. On peut cependant noter que ce sont des données d'achalandage plutôt que des données de demande.

ii) A partir de ces données on définit pour chaque parcours une demande de service. Cette demande est exprimée en nombre d'autobus nécessaire par unité de temps pour satisfaire la "demande observée" (prise égale à l'achalandage observé) compte tenu des normes de service à respecter (i.e. le nombre de passagers par véhicule qui est considéré comme acceptable aux différentes heures de la journée).

iii) On prépare par la suite des horaires d'autobus qui satisfont du mieux possible la demande de service calculée en respectant les politiques ou pratiques de la compagnie quant à l'égalité ou l'inégalité de service dans les deux directions d'un parcours, à l'utilisation du même autobus sur plusieurs parcours, etc...

iv) On fabrique les horaires de travail des chauffeurs à partir de l'horaire des autobus et des contraintes et pénalités imposées par la convention collective des chauffeurs.

En résumé on peut donc dire que le problème des horaires dans une compagnie de transport en commun consiste à construire, à partir d'estimés de la demande, des horaires de véhicules et de chauffeurs pour satisfaire à coût minimum cette demande tout en respectant des normes de service et d'opération, de même qu'une convention collective de chauffeurs.

2 La procédure HASTUS-macro

La base du système proposé est une procédure appelée HASTUS-macro. Cette procédure relativement simple a pour objectif de produire un horaire-

maître pour les chauffeurs. Cet horaire n'est cependant pas applicable directement; il indique cependant le type d'horaire de travail qui permettra de satisfaire les contraintes à coût minimum. La procédure HASTUS-macro est essentiellement un programme linéaire qui approxime de très près le problème des horaires de chauffeurs. Il a techniquement la forme d'un recouvrement multiple d'ensembles que l'on solutionne de façon continue.(schéma 1)

On approxime le nombre de chauffeurs requis par période de 15 à 60 minutes selon l'option. Ce nombre provient de l'horaire de véhicules ou de la demande de service. Par la suite on crée toutes les journées-types de travail d'une, deux ou trois étapes (une étape est une assignation à un véhicule pour une certaine période continue) recouvrant les périodes, et qui répondent aux contraintes de base de la convention collective. On assigne à chacune de ces journées un coût en tenant compte des pénalités définies par la convention collective (sur l'amplitude, i.e. durée entre le début de la première étape et la fin de la dernière; politique de paiement des périodes libres, etc...) Le programme linéaire de base cherche donc à identifier le type et le nombre de ces journées de travail qui devraient être utilisées pour être au moins au nombre de chauffeurs requis et ce, au moindre coût. On tient compte également de contraintes additionnelles provenant de la convention collective qui limitent le nombre permis de journées de certains types (par exemple, minimum ou maximum de journées avec des pièces de longueur supérieure ou inférieure à une constante, etc...) Enfin, sauf pour l'option qui servira à fabriquer l'horaire de véhicules, on ajoute également des contraintes dites de réalisabilité en vue de tenir compte de certaines caractéristiques de l'horaire de véhicules qui auront un impact sur la confection de l'horaire détaillé. Par exemple, il est clair que l'on ne voudra pas séparer en deux étapes une course de moins de quatre heures (il y a généralement une pénalité associée aux étapes de moins de deux heures). Pour que l'horaire-maître produit par HASTUS-macro tienne compte de ce fait, on ajoute entre autres des contraintes forçant la solution à comporter autant d'étapes de travail qu'il en faut pour correspondre aux petites courses que l'on ne voudra pas fractionner. (S'il y a dix courses entre 07h00 et 09h00 on voudra générer au moins dix étapes entre 07h00 et 09h00). On en retrouve une formulation plus détaillée dans [1], [2], [3].

NOMBRE DE JOURNEES DE CHAQUE TYPE		1 ETAPE				2 ETAPES			3 ETAPES		CHAUFFEURS REQUIS PAR PERIODE
		X_1	X_2	X_3	. . .	X_i	X_{i+1}	. . .	X_k		
	4h00- 4h30	1	0	0		1	1		1		N_1
	4h30- 5h00	1	1	0		1	1		1		N_2
	5h00- 5h30	1	1	1		1	1		1		N_3
	5h30- 6h00	1	1	1		1	1		1		N_4
	6h00- 6h30	1	1	1		0	0		0		N_5
	6h30- 7h00	1	1	1		1	0		1		N_6
P	7h00- 7h30	1	1	1		1	1		1		N_7
E	7h30- 8h00	1	1	1		1	1		1	$\geq$	N_8
R	8h00- 8h30	1	1	1		1	1		1		N_9
I	8h30- 9h00	1	1	1		1	1		0		N_{10}
O	9h00- 9h30	1	1	1		1	1		1		N_{11}
D	9h30-10h00	1	1	1		1	1		1		N_{12}
E	10h00-10h30	1	1	1		1	1		1		N_{13}
	10h30-11h00	1	1	1		1	1		1		N_{14}
	11h00-11h30	1	1	1		1	1		1		N_{15}
	11h30-12h00	1	1	1		1	1		1		N_{16}
	12h00-12h30	0	1	1		1	1		1		N_{17}
	12h30-13h00	0	0	1		0	1		1		N_{18}
	13h00-13h30	0	0	0		0	0		0		N_{19}
	.	.	.	.		.			.		.
	.	.	.	.		.			.		.
	.	.	.	.		.			.		.

AUTRES CONTRAINTES DE LA CONVENTION

CONTRAINTES DE REALISABILITE

MINIMISER COUTS

SCHEMA 1 - Le programme linéaire HASTUS-macro

3 Le logiciel HASTUS-macro

La solution du programme linéaire que nous venons de décrire brièvement est effectuée à l'aide d'un logiciel connu (MPS, MPSX, APEX II). Cependant, pour être utile autres dans le contexte d'une évaluation de convention collective, il faut être rapidement en mesure de spécifier les contraintes voulues et imprimer un output approprié. C'est la tâche du logiciel HASTUS-macro. On en retrouve une description détaillée dans un document du Centre de recherche sur les transports [4]. On retrouve au schéma 2 un exemple détaillé réalisé avec ce logiciel sur les données de la C.T.C.U.Q. Il existe trois types de fonctions dans ce langage:

i) Les fonctions de définitions: ces fonctions servent entre autres à définir les variables correspondant aux journées légales et souhaitées qui pourront faire partie de la solution optimale du problème. On peut se servir de ces fonctions pour limiter le nombre de variables qui seront définies. On définit également à l'aide de ces fonctions certaines constantes et paramètres qui seront utiles. Dans l'exemple, on définit à l'aide de ces fonctions le coût horaire ($9.96), le nombre d'étapes maximum (3), la durée de la journée (08h00), la longueur garantie de toute étape (02h15), l'arrêt minimum entre deux étapes (00h30) et l'existence d'une pause minimum (01h30) dans toute journée brisée. On dit également que l'amplitude maximale est de 12h20 sauf si la journée se termine au delà de 24h00 (23h00) l'amplitude maximum devient 10h00 (11h00). On définit également les pénalités associées à des amplitudes de 10 heures, 11 heures et plus, soit $0.30 et $0.40 supplémentaires de l'heure travaillée. On définit également le nombre et les heures de pointe dans la journée. On pénalise les étapes libres (étapes qui ne font pas partie d'une journée de 08h00) par un facteur de 1.5 et limite leur longueur à 6 heures. On dit également (J2P - POINTE 1) qu'une journée de deux étapes doit recouvrir au moins une heure de pointe et qu'une journée de trois étapes doit en recouvrir 3 (J3P - POINTE 3). Il y a un boni de $0.20 par heure travaillée pour une journée de trois étapes et celles-ci ne doivent pas avoir de période libre de plus de 4 heures, ni débuter après 12h30 ou se terminer après 24h00. De plus les 3 étapes doivent correspondre à des courses (J3P - pièces 3).

ESSAI HASTUS CTCUQ

ANALYSE D'UNE CONVENTION COLLECTIVE
(HASTUS-MACRO)
DEMANDE

```
*ESSAI HASTUS CTCUQ
                    DEF   PERIODE 0H30
  DEF  NOMBRE-PIECE 3
  DEF  DUREE-JOURNEE 8H00
                    DEF  SALAIRE-HORAIRE 9.96
                    DEF  PIECE-GARANTI 2H15
                    DEF  PAUSE-MIN 1H30
                    DEF  ARRET-MIN 0H30
  DEF  MAX-AMPLITUDE  12H20
                    DEF  MAX-AMPLITUDE 10H00 24H00
                    DEF  MAX-AMPLITUDE 11H00 23H00
                    DEF  BONI-AMPLITUDE 10h00 0.30
                    DEF  BONI-AMPLITUDE 11H00 0.40
                    DEF  NOMBRE-POINTE 3
                    DEF  HEURE-POINTE  1  7H40
                    DEF  HEURE-POINTE  2 12H40
                    DEF  HEURE-POINTE  3 17H00
  DEF  VACANT-FACT 1.5
                    DEF  PV-LG-MAX  6H00
                    DEF  PV-EXISTE  1
                    DEF  J2P-POINTE 1
  DEF  BONI-J3P 0.20
                    DEF  J3P-BRI-MAX  4H00
                    DEF  J3P-DEBUT  12H30
                    DEF  J3P-PIECES  3
                    DEF  J3P-FIN  24H00
                    DEF  J3P-POINTE  3
  CONTRAINTE PIECE 5H30 ET PLUS MAXIMUM 40.0
  CONTRAINTE PIECE 6H00 ET PLUS MAXIMUM 20.0
  CONTRAINTE AMPLITUDE 8H00 ET MOINS MAXIMUM 25
  HORAIRE
*   JE SUIS UNE CARTE COMMENTAIRE (JE DEBUTE PAR UN '*')
  CARAC-HORAIRE
  EVALUER-CONVENTION
```

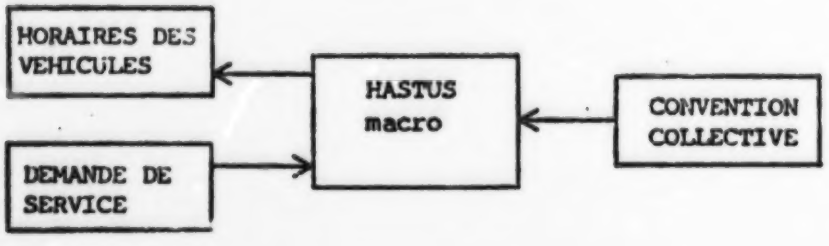
SCHEMA 2 - LISTE DES ENONCES POUR UN EXEMPLE A LA C.T.C.U.Q.

ii) Les fonctions de contraintes: les fonctions de contraintes servent à définir les contraintes imposées que doivent respecter l'ensemble des journées choisies par la fonction objective. On peut ainsi limiter ou favoriser l'utilisation de certains types de journées de travail. Dans l'exemple on dit entre autres qu'au plus 40% des journées brisées doivent avoir des étapes de plus de 05h30, et au plus 20% avoir une étape de 06h00. On exige également que pas plus de 25% des journées soient du type continu.

iii) Les fonctions d'exécution: ces commandes servent à formuler la requête d'exécution. On peut demander de lire et valider les données de l'horaire (HORAIRE), imprimer les caractéristiques des horaires, soit, la distribution des véhicules par période, de décrire le problème créé pour la programmation linéaire (ANALYSER-CONVENTION) ou d'évaluer la convention collective en résolvant le problème de programmation linéaire et produire le rapport d'analyse (EVALUER-CONVENTION).

4 L'utilisation d'HASTUS-macro

HASTUS-macro peut être utilisé dans trois contextes:



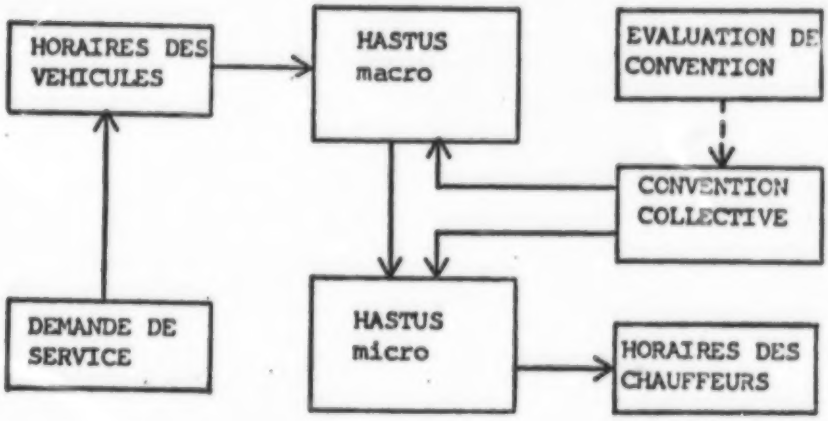
SCHEMA 3 - HORAIRES DES VEHICULES

i) Horaire des véhicules: nous croyons que l'horaire des véhicules doit être fait en tenant compte de la convention collective des chauffeurs. En effet, les chauffeurs représentent la majorité des coûts d'opération d'une compagnie de transport en commun. Près de 6% de ces frais sont dûs à des pénalités payées pour des journées de travail comportant des caractétistiques non souhaitées par les chauffeurs. Or, souvent l'horaire des véhicules crée des situations qui seront pénalisées au niveau de l'horaire des chauffeurs. Il suffit de penser par exemple aux courses d'une durée inférieure à 2 heures alors que tout chauffeur en général doit être affecté à un véhicule pour une durée minimum de 2 heures. Un mauvais équilibre également entre les petites courses (moins de 4 heures) et les grandes courses (généralement entre 10-24 heures) peut occasionner des coûts supplémentaires. Dans ce contexte nous sommes à développer un algorithme qui à partir de la convention collective et des données sur la demande de service produira d'abord un horaire-maître pour les chauffeurs et ensuite un horaire de véhicules qui permettra à cet horaire-maître des chauffeurs d'être facilement transformé et à coût peu élevé en un horaire détaillé pour ces derniers. On peut en tirer également des règles manuelles, comme nous le verrons par la suite.

ii) Evaluation de convention: il est difficile d'évaluer l'impact de modification des termes de la convention collective sans entreprendre le processus long et complexe de la fabrication d'horaire détaillé. Encore là, si le processus est manuel, le risque d'erreur est grand. La procédure HASTUS-macro permet de réaliser rapidement cette tâche avec précision. A partir d'un horaire de véhicules et d'une convention collective à tester, on obtient facilement un estimé des coûts d'exploitation associés aux salaires des chauffeurs. En comparant les coûts d'une convention proposée et de l'ancienne convention par cette procédure, on a donc une très bonne idée de l'impact financier de la convention proposée, à une constante près.

SCHEMA 4 - EVALUATION DE CONVENTION

iii) Horaire détaillé pour les chauffeurs: à partir de l'horaire de véhicules et de la convention collective des chauffeurs, on détermine d'abord l'horaire-maître avec la procédure HASTUS-macro puis manuellement, ou à l'aide d'une procédure HASTUS-micro, on fabrique un horaire détaillé suivant la direction de travail indiqué par HASTUS-macro. Cette dernière procédure a été testée sur les données de la C.T.C.U.M. et elle a donné des résultats très satisfaisants. On retrouve une description détaillée de cette procédure dans [1], [2], [3]. Elle est en voie d'implantation à la C.T.C.U.Q.

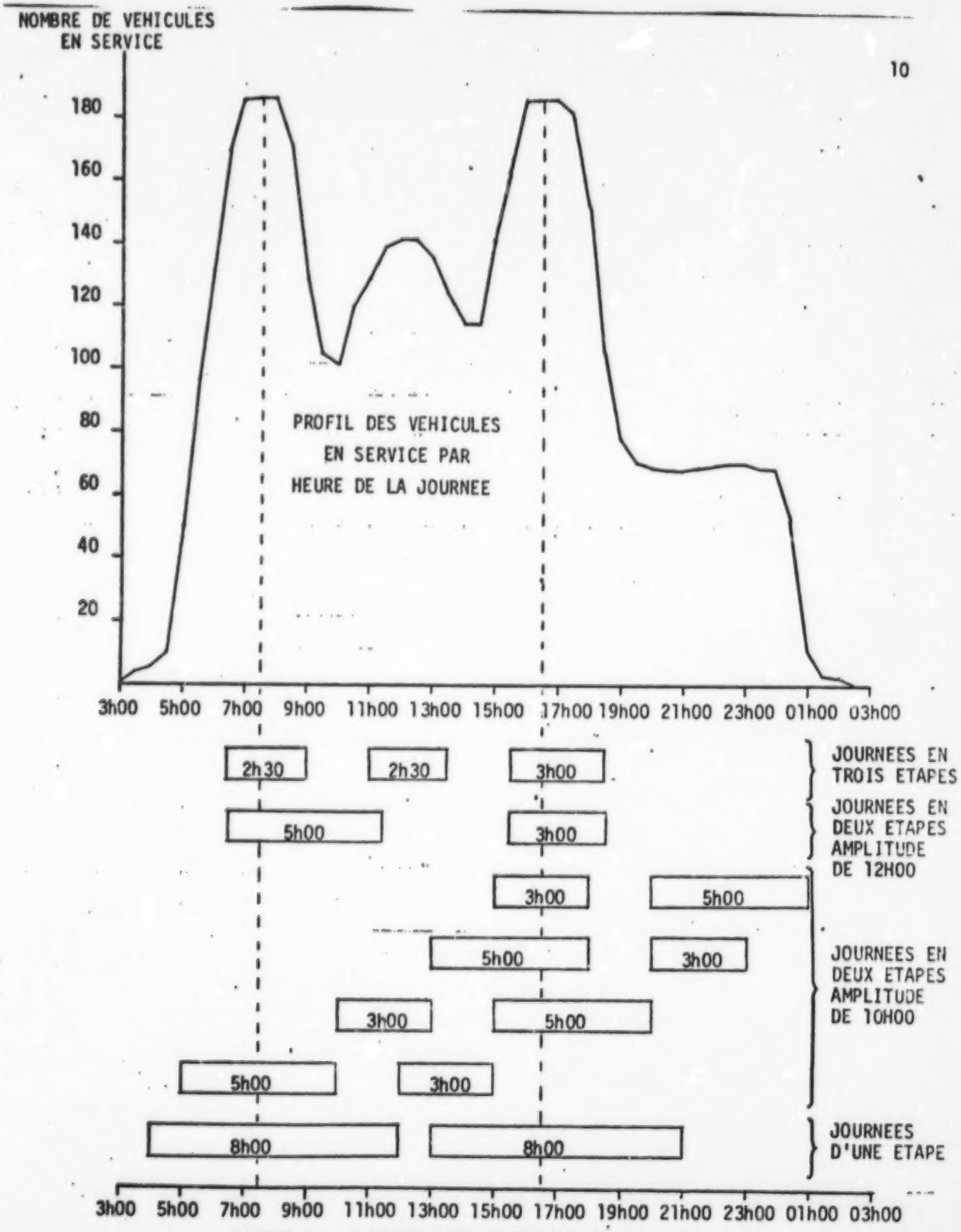


SCHEMA 5 - HORAIRES DES CHAUFFEURS

5 Application au cas de Québec

Trois applications concrètes, du type de celles décrites précédemment, ont découlé de l'implantation de HASTUS-macro à la C.T.C.U.Q.

La première application a permis de mettre en usage de nouvelles règles de programmation des journées de travail de chauffeurs. On a ensuite procédé à l'implantation de celles-ci sur une liste d'assignation préparée manuellement. Ces règles sont les suivantes (voir schéma 6).



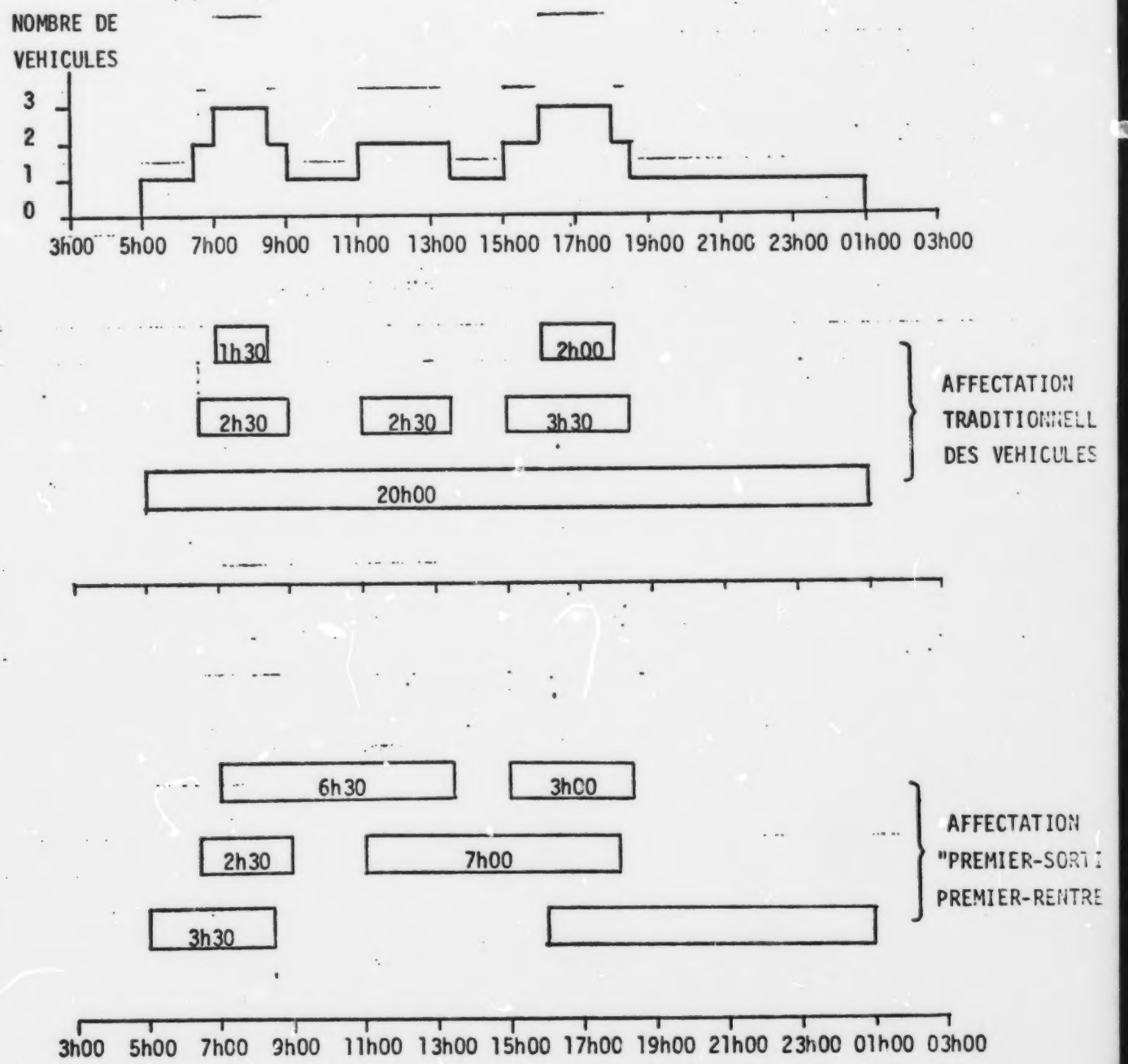
SCHEMA 6 - ILLUSTRATION GRAPHIQUE DE QUELQUES PRINCIPES DE PROGRAMMATION

- toute journée de travail doit comporter du travail à l'une des périodes de pointe du matin ou du soir;
- toute journée de travail doit comporter une amplitude se rapprochant le plus possible de 10h00 ou de 12h00, mais jamais autour de 11h00;
- Toutes les journées de travail avec 12h00 d'amplitude doivent comporter du travail aux deux périodes de pointe du matin et du soir;
- Les journées de travail en une étape doivent occuper une position bien spécifique dans la programmation des assignations.

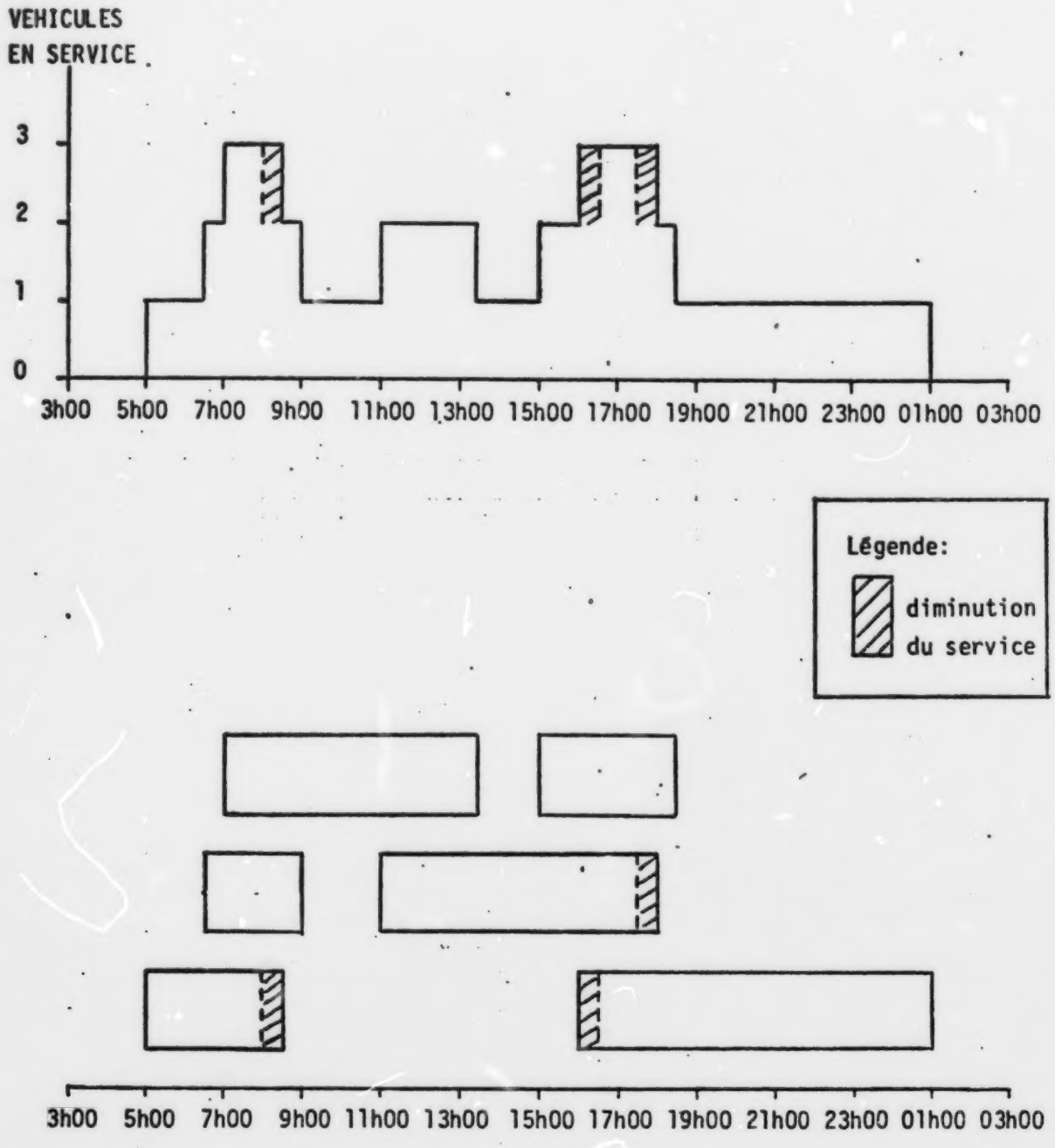
Partant de là, il devient possible d'améliorer les techniques manuelles de programmation à l'aide de ces règles très simples. En combinant ceci une nouvelle méthode d'affectation des véhicules, une compression appréciable des coûts de l'ordre de 1% du coût total a été réalisée. La nouvelle méthode d'affectation des véhicules appelée "premier sorti - premier rentré" permet d'éliminer les petites étapes de travail aux heures de pointe. (schéma 7)

Cette procédure permet aussi de tailler sur mesure le service aux heures de pointe, sans pour autant entraîner le paiement d'heures non-productives à cause de la courte durée de l'étape de travail. (voir schéma 8)

Le deuxième type d'application consiste à utiliser les possibilités de simulation de HASTUS-macro pour évaluer l'impact de variations de certains paramètres de la convention collective des chauffeurs sur les coûts d'exploitation. La méthode utilisée est relativement simple: une grille est construite de telle sorte que ses lignes donnent l'effet de variations d'un groupe de paramètres pour un type de service donné, tandis que les colonnes donnent l'effet de la variation du type de service pour un groupe de paramètres fixes. (exemple au schéma 9)



SCHEMA 7 - Comparaison graphique de deux méthodes d'affectation des véhicules.



SCHEMA 8 - Effet de la réduction de la durée de la période de pointe sur les courses des véhicules.

	AMPLITUDE 10H00	AMPLITUDE 10H30	AMPLITUDE 11H00	AMPLITUDE 11H30	AMPLITUDE 12H00	AMPLITUDE 12H30
SEPTEMBRE 78	122	112	107	103	100	98
SEPTEMBRE 79	129	118	112	108	105	103
SEPTEMBRE 80	135	123	117	113	110	108
SEPTEMBRE 81	141	129	123	119	116	113
SEPTEMBRE 82	147	135	129	125	122	119
SEPTEMBRE 83	154	142	136	132	129	125

SCHEMA 9 - Variation du coût d'exploitation (1978 = 100) selon des profits de service et l'amplitude maximum (exemple théorique).

	AMPLITUDE 12H00	AMPLITUDE 11H30	AMPLITUDE 11H00	AMPLITUDE 10H30	AMPLITUDE 10H00
JOURNEE 8H00	100	103	107	112	122
JOURNEE 7H30	106	109	112	116	125

SCHEMA 10 - Pour un niveau de service donné (1978 = 100), évaluation du coût d'exploitation, selon des combinaisons de journée et d'amplitude maximum (exemple théorique).

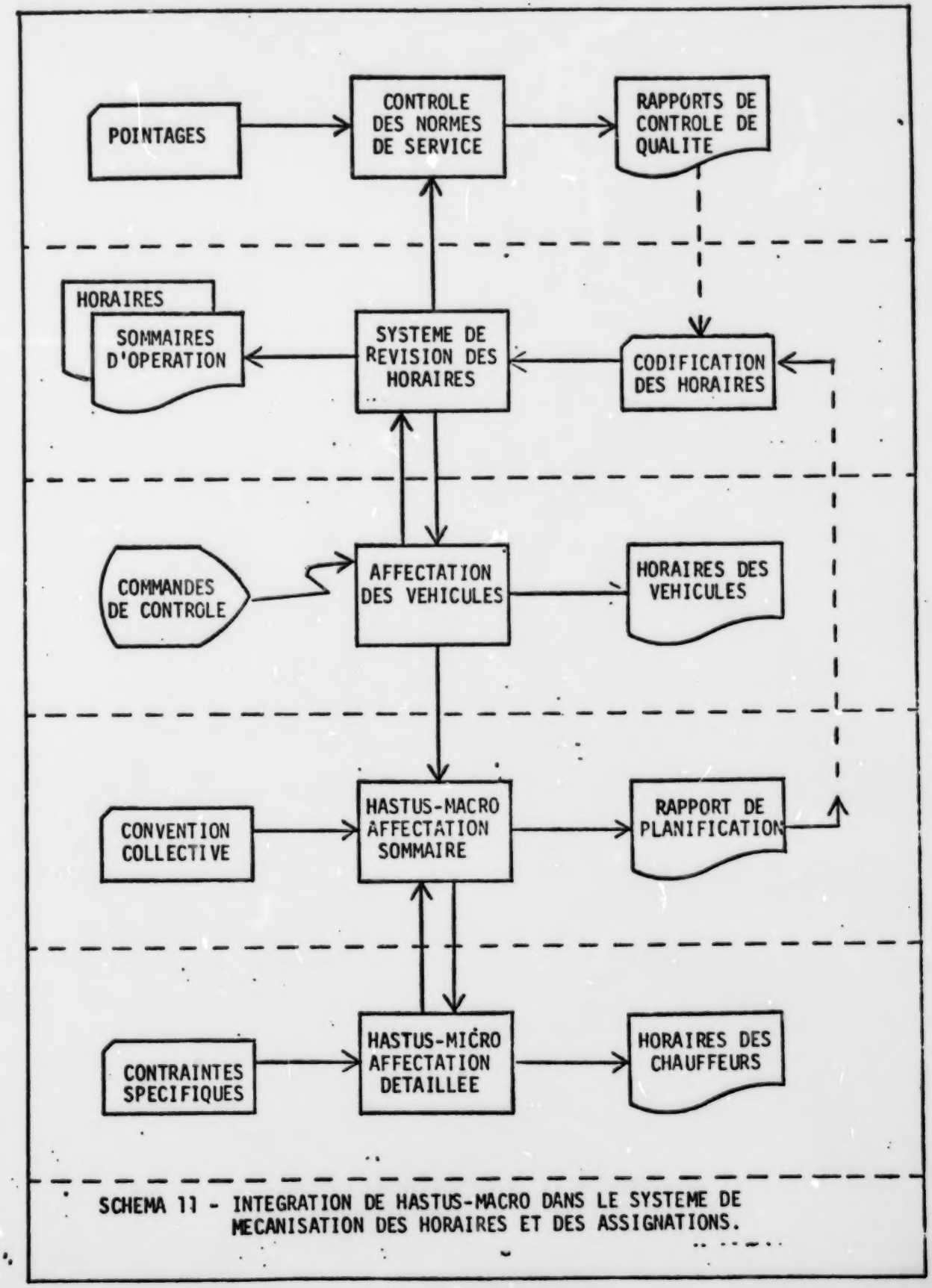
D'autre part, une grille donnant l'effet des variations indépendantes de certains paramètres pour une demande de service peut aussi être préparée. (schéma 10)

La troisième application de HASTUS-macro consiste en son intégration dans le système de mécanisation des horaires et des assignations de la C.T.C.U.Q. (schéma 11)

HASTUS-macro constitue l'un des cinq modules qui permettront éventuellement de disposer d'un système relativement complet pour la préparation des horaires et des assignations, de même que pour le contrôle des services.

6 Conclusion

Nous avons décrit sommairement la base d'un système en cours de développement pour la préparation d'horaires de chauffeurs et d'autobus. Ce système s'est développé et continue de progresser grâce à la collaboration intensive entre des sociétés de transport en commun (C.T.C.U.M. et C.T.C.U.Q.), le Centre de Recherche sur les Transports de l'Université de Montréal, le Ministère des Transports du Québec et Transport Canada. Un système complet sera disponible d'ici quelque temps, sous forme de programme-produit facile à utiliser.



SCHEMA 11 - INTEGRATION DE HASTUS-MACRO DANS LE SYSTEME DE MECANISATION DES HORAIRES ET DES ASSIGNATIONS.

REFERENCES

(1) The Problem of Assigning Drivers to Bus Routes in an Urban Public Transit System, J.Y. Blais, J.M. Rousseau, G. Laporte, C.R.T., Université de Montréal, no 207, Septembre 1975.

(2) Le problème de la préparation de la liste d'assignations des chauffeurs d'autobus à la C.T.C.U.M., J.Y. Blais, J.M. Rousseau, G. Laporte, Département d'Informatique, Université de Montréal, no 64, Août 1975.

(3) Préparation de la liste d'assignations des chauffeurs d'autobus d'une compagnie de Transport en commun, Réjean Lessard, Département d'Informatique, Université de Montréal, Publication no 214, Avril 1976.

(4) Manuel d'utilisation de HASTUS-macro, J.Y. Blais, Département d'Informatique, Université de Montréal, Publication no 277, Février 1978.